

Vegetation som ett värmereducerande verktyg i den urbana miljön

–Grön infrastruktur och vegetationens värmereducerande effekter

Vegetation as a heat reducing tool in the urban environment
- Green infrastructure and heat reducing effects of vegetation

Max Eriksson & Marcus Wikholm



Vegetation som ett värmereducerande verktyg i den urbana miljön

- Grön infrastruktur och vegetationens värmereducerande effekter

Vegetation as a heat reducing tool in the urban landscape

- Green infrastructure and heat reducing effects of vegetation

Max Eriksson & Marcus Wikholm

Handledare: Tobias Emilsson, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Examinator: Anders Kristoffersson, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: G2E

Kurstitel: Examensarbete i landskapsarkitektur för landskapsingenjörer

Kurskod: EX0793

Program: Landskapsingenjörsprogrammet

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2018

Omslagsbild: CC0 Licens

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: värmereducering, lufttemperatur, städer, grön infrastruktur, urban heat island, albedo, evapotranspiration, vindförhållande, skugga, gröna tak, grönområden.

Förord

Examensarbetet markerar avslutet för våra 3 år vid Sveriges Lantbruksuniversitet i Alnarp. Där vi tillsammans har studerat på landskapsingenjörsprogrammet. Examensarbetet omfattar 15 högskolepoäng.

Det var genom kursen Utformning av vattenmiljöer som vi fick upp intresset för resilienta system och vegetationens påverkan på klimatet. Då kursen till stor del fokuserade på blåa system och deras effekt i att mildra bland annat översvämningar, så väcktes ett intresse över hur gröna system påverkar andra klimatologiska effekter. Vegetationens påverkan på lufttemperaturer i våra städer är ett område som vi hade hört talas om innan, men gärna ville fördjupa oss inom.

Tobias Emilsson vår handledare höll föredrag om resilienta system i kursen Utformning av vattenmiljöer. Efter att ha diskuterat idén bakom vårt examensarbete med Tobias så blev det tydligt att det var ett ämne vi ville skriva om.

Vi är oerhört tacksamma för vägledningen vi har fått från Tobias Emilsson genom vårt examensarbete.

*Max Eriksson & Marcus Wikholm
Alnarp, 2018-05-30*

Sammanfattning

En av de svåraste utmaningarna dagens samhälle står inför idag är den globala uppvärmningen och de globala klimatförändringarna. Den globala uppvärmningen bidrar till stora temperaturförändringar i våra städer och Norden är den del av Europa som kommer att påverkas i störst utsträckning av denna klimatförändring. Den urbana miljön är i ständig utveckling. Städer förtätas och tätorter expanderar vilket innebär en ökad andel hårdgjorda ytor och en reducering av vegetativa ytor. I dagens läge består stadsmiljön framförallt av hårdgjorda ytor vilket innebär att de har en låg kylningseffekt och en låg infiltrationskapacitet. Detta bidrar till att det uppstår värmeöar i både städer och tätorter. Stadskärnor är där värmeöarna är som mest intensiva och på dagen kan lufttemperaturen ligga mellan 3-5°C högre än rurala områden. På natten kan denna temperaturskillnad stiga upp emot 12°C. Samhällets och ekosystemens förmåga att återhämta sig måste därför förstärkas.

Grön infrastruktur har enligt flera studier visat sig vara en effektiv och socialt accepterad lösning för att förmildra värmeö-effekten, genom att reducera lufttemperaturen i den urbana miljön och på så sätt förstärka ekosystemtjänster i samhällen. Att integrera grön infrastruktur inom olika politiska områden erbjuder attraktiva lösningar på ekonomiska, sociala och miljömässiga problem i våra samhällen. Syftet med detta examensarbete är att undersöka hur olika system av grön infrastruktur påverkar temperaturen i urbana miljöer samt vilka faktorer som bidrar till en temperaturförändring. Litteraturstudien har därmed inriktat sig på vegetativa faktorer som albedo, evapotranspiration, modifiering av vindförhållande och skugga för att studera hur dessa påverkar temperaturen i staden. Litteraturstudien innefattar även hur olika typer av grön infrastruktur såsom träd, gröna tak, vertikala gröna system och grönområden bidrar till värmereducering i sin omgivning. Målet är att bilda en uppfattning om hur stor inverkan grön infrastruktur har på klimatet i den urbana miljön och på så sätt bidra till ökad förståelse för olika aktörer inom grönyteplanering.

Slutsatsen redovisar att faktorer som evapotranspiration, albedo, modifiering av vindförhållanden och skugga har en påverkan på hur vegetationen bidrar med en reducering av temperaturen i den urbana miljön. Vatten visade sig vara en avgörande faktor till hur mycket kylningseffekt vegetationen avger, då alla temperaturreducerande faktorer hos vegetationen är direkt beroende av tillgängligt vatten. De olika typerna av grön infrastruktur som studerades i litteraturstudien har alla en påverkan på det urbana klimatet avseende temperaturen på ytor och i luften. Däremot bidrar de olika typerna av gröna system på olika sätt med temperaturreduceringar i staden. Träd bidrar i större omfattning på kylning av omgivningstemperaturen genom evapotranspiration jämfört med gröna tak. Gröna tak bidrar däremot med isolering och beskuggning av takytan på byggnader. Alla typer av gröna system bidrar till en ökad värmereducering och en minskad energiförbrukning i staden, därmed är det kanske en fråga om utrymme istället för total värmereducerande effekt som städer bör ta fasta på.

Abstract

Global warming and the continuously expanding nature of our urban environments have led to an increase in temperature in the urban center. The main reason for the increase in temperature in the urban areas is the prevalence of materials like concrete and asphalt. These surfaces absorb solar energy during the daylight hours and through convection this energy is released as heat during the night. In combination with the lack of water in the urban environment the effects of the urban heating is excelled. This process is referred to as the urban heat island phenomenon.

Using vegetation to mitigate the intensity of the urban heat islands have shown to be effective in several studies. Vegetation help to reduce urban temperature by factors like albedo, evapotranspiration, modification of wind and shade. All vegetation contributes with cooling, although the ways in which they contribute differs. Green roofs and vertical green systems contribute by isolating buildings and blocking incoming solar radiation, thus minimizing the heat stored in the surface material. Trees contribute by blocking the sun and providing shade but also help in modifying the wind, which leads to air circulation. The main purpose of the bachelor's thesis is to show how vegetation help mitigating the effects of the heat in urban settings. The heat reducing factors will be studied and different types of green infrastructure will be evaluated.

The literature study shows that vegetation had a documented effect on mitigating heat in the urban setting. It is however clear that water needs to be sufficient to have a greater effect on urban air temperature. The different types of green infrastructure all contribute to the reduction of urban temperatures. The amount of cooling each system contribute with are however different.

Innehållsförteckning

1. Inledning.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte och mål.....	2
1.3 Avgränsning	2
2. Metod och material	2
3. Grön infrastruktur	3
3.1 Definition av grön infrastruktur	3
3.2 Värdet av grön infrastruktur i urban miljö	4
3.2.1 Värmeö-effekten	4
3.2.2 Påverkan på människor	5
3.2.3 Vegetationens roll.....	6
4. Vegetationens värmereducerande egenskaper i den urbana miljön	7
4.1 Albedo	7
4.2 Evapotranspiration	9
4.3 Vindförhållande	10
4.4 Skugga.....	11
5. Gröna system	12
5.1 Träd	12
5.2 Gröna tak.....	13
5.3 Vertikala grönsystem	14
5.4 Parker och grönområden.....	15
6. Analys	16
6.1 Analys av faktorer och olika vegetationstypers inverkan på värmereduktionen i städer	16
6.2 Sammanfattande analys	20
7. Diskussion	22
7.1 Resultatdiskussion	22
7.2 Råd till kommuner och förvaltare.....	24
8. Slutsats	26
9. Källförteckning	27

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Den globala uppvärmningen har pågått under en längre tid och klimatet på jorden blir allt varmare. Under de senaste hundra åren har jordens medeltemperatur stigit med 0,74°C. Av den uppvärmning som skett sedan år 1950 är människan med största sannolikhet huvudorsaken (Boverket, 2010). Den globala uppvärmningen leder till stora förändringar i temperaturen i våra städer. Enligt SMHI (2010) kommer de globala klimatförändringarna att tillta drastiskt under 2000-talet och det kommer alltmer frekvent att uppstå extrema värmeböljor. Norden kommer att påverkas i större utsträckning med avseende på temperaturen och klimatet än övriga världen. Detta kommer innebära förändringar i klimataspekter såsom snöförhållanden, nederbörd samt att växtligheten påverkas av en ökad koldioxidhalt. Enligt Boverket (2010) kommer Södra Sverige i slutet av sekelskiftet ha ett liknande klimat som Spaniens eller Frankrikes nuvarande klimat.

Under de kommande 20-50 åren kommer samhället att få uppleva en rad konsekvenser av klimatförändringar oavsett vad vi gör för att reducera utsläppen av växthusgaser. Direkta, indirekta interna och indirekta externa effekter är olika konsekvenser som Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2013) förutser kan komma att drabba Sverige på grund av klimatförändringar. Direkta effekter visar sig i form av nederbördsmängd, extrema väderhändelser och temperaturförändringar. Indirekta interna effekter är när det sker störningar i ekosystemen som ett resultat av klimatförändringen vilket i sin tur kan komma att påverka ekosystemens produktion av varor och tjänster. När oväntade kritiska situationer uppstår utomlands på grund av globala miljöförändringar och som till följd har en inverkan på de svenska sociala, ekologiska och ekonomiska förhållandena kategoriseras det som en indirekt extern effekt. Samhället och ekosystemens förmåga att förbereda sig, klara av och återhämta sig från klimatrelaterade förändringar måste förstärkas, detta kallas för klimatanpassning för minskad sårbarhet (MSB, 2013).

I århundraden har vegetation nyttjats för att påverka klimatförutsättningar i den urbana periferin, privatträdgårdar samt jordbrukslandskapet. Dock har förståelsen och kunskapen om vegetationens fördelar i den urbana miljön, utöver det estetiska, minskat på grund av att urbanisering och tätortsutveckling främst satts i fokus (Deak Sjöman, 2016). I dagens läge består stadsmiljön framförallt av hårdgjorda ytor vilket innebär att städer har en låg kylningseffekt och en låg infiltrationskapacitet. Detta bidrar till att det uppstår mikroklimat och värmeöar i både städer och tätorter (Boverket 2010). För att minska värmeackumulation i den urbana miljön är grön infrastruktur en effektiv och socialt accepterad lösning. Grön infrastruktur bidrar med evapotranspiration, skuggbildning och har en inverkan på luftcirkulationen genom att förändra vindförhållandena (Norton et al, 2013).

1.2 Syfte och mål

Syftet med examensarbetet är att undersöka hur olika system av grön infrastruktur påverkar temperaturen i urban miljö samt vilka faktorer som bidrar till en temperaturförändring. Målet är att bilda oss en uppfattning om hur gröna system påverkar klimatet och påvisa vilken påverkan ett specifikt system har på temperaturen i staden.

Detta arbetet grundar sig på följande frågeställningar:

- Vilka faktorer i anslutning till vegetationen bidrar till en värmereducering i den urbana miljön?
- Hur påverkar olika typer av gröna system temperaturen i staden?

1.3 Avgränsning

Examensarbetet är inriktat på vegetationens värmereducerande egenskaper och är därmed avgränsat från andra egenskaper som vegetationen bidrar med såsom renande och vattenreducerande förmåga. Klimatets påverkan på människan och deras hälsa är inte det huvudsakliga intresset för denna litteraturstudie. Studien kommer framförallt att fokusera på grön infrastruktur och hur dessa system kan komma att påverka klimatet i den urbana miljön. Blåa system och hur de påverkar temperaturen kommer således inte att beröras. Arbetet kommer inte att innehålla egna temperaturmätningar utan kommer istället utgå ifrån tidigare studier och de resultat vegetation har visat som ett värmereducerande verktyg.

2. Metod och material

Detta arbete är en litteraturstudie där data om hur grön infrastruktur bidrar till en temperatursänkning i den urbana miljön har samlats in. Arbetet kommer framförallt att ta upp faktorer såsom skugga, vind, albedo, evapotranspiration och hur de bidrar till en temperatursänkning i våra städer. Studien kommer även att redovisa hur grön infrastruktur kan minska värmeö-effekten samt ge förslag till hur kommuner kan arbeta mot ett svalare klimat med hjälp av grön infrastruktur.

Datan som litteraturstudien är uppbyggd av är bland annat böcker, rapporter och vetenskapliga artiklar. Litteraturstudien refererar till primära såväl som sekundära källor. Databaser såsom Primo och MAH Libsearch har nyttjats för att få fram dessa vetenskapliga artiklar och rapporter.

3. Grön infrastruktur

3.1 Definition av grön infrastruktur

Infrastruktur är ett nätverk som bygger samman olika viktiga funktioner i samhället såsom avlopp, sjukhus, vägar, mataffärer m.m. Denna typ av struktur och nätverk finns även i naturen och kallas för grön infrastruktur. Den höga urbaniseringstakten innebär att byggnationer och annan infrastruktur prioriteras framför naturmark och på så sätt påverkar den biologiska mångfalden, energibalansen, luftkvaliteten, temperaturen, infiltrationen m.m. Grön infrastruktur har därmed blivit en högaktuell fråga i de nordiska länderna (Nordiska Ministerrådet, 2018; Rosa dos Santos et al, 2017).

“Grön infrastruktur definieras som ett ekologiskt funktionellt nätverk av livsmiljöer och strukturer, naturområden samt anlagda element som utformas, brukas och förvaltas på ett sätt så att biologisk mångfald bevaras och för samhället viktiga ekosystemtjänster främjas i hela landskapet.” - (Naturvårdsverket, 2018)

Naturvårdsverket (2015) skriver att det huvudsakliga syftet med grön infrastruktur är att gynna biologisk mångfald, främja ekosystemens status och resiliens och därmed förstärka ekosystemtjänster i samhället. För att tätorter ska ha en förmåga att kunna motstå klimateffekter, bidra till ett välbefinnande hos samhällets invånare och generera ekosystemtjänster har studier visat att grön infrastruktur spelar en avgörande roll (Nordiska Ministerrådet, 2018). Europeiska miljöbyrån (2015) lyfter fram att det är viktigt att grön infrastruktur integreras fullt ut inom olika politiska områden, då det kan erbjuda attraktiva lösningar på ekonomiska, sociala och miljömässiga problem i våra samhällen.

Ett samhälle är beroende av de ekosystemtjänster naturen förser människan med dvs. rent vatten, ren luft, råvaror, livsmedel, klimatreglering, rekreation, pollinering m.m. Dock, alldeles för ofta, tas dessa ekosystemtjänster för givet och betraktas/används som gratis råvaror med obegränsat utbud. En negativ följd av detta kan bli att offentliga myndigheter inte väljer att använda sig av naturliga lösningar vid problem utan istället väljer att använda sig av grå infrastruktur. Detta innebär för Europa att motståndskraften mot miljöchocker försvagas samtidigt som den långsiktiga hållbarheten sätts på spel och naturkapitalet skadas (Europeiska kommissionen, 2013).

Resurseffektivitet är en del i EU:s tillväxtstrategi “EU 2020”. Resurseffektivitet innebär effektiv och hållbar användning av våra begränsade resurser, vilket bidrar till minskad miljöpåverkan. EU-kommissionen har kommit överens om att det behöver ske en förändring i hur vi arbetar med våra resurser. Ett ramverk för hur dessa ändringar ska utformas och genomföras beskrivs i “Färdplan ett resurseffektivt Europa”. Färdplanen innehåller 18 etappmål som ska uppnås till 2020 (Naturvårdsverket, 2017). Ett av dessa mål är att försöka uppnå en smart och hållbar tillväxt för alla. För att uppnå detta mål måste våra värderingar av ekosystemtjänster och vår försummelse av att skydda vårt naturkapital åtgärdas på ett korrekt sätt (Europeiska kommissionen, 2013).

3.2 Värde av grön infrastruktur i urban miljö

3.2.1 Värmeö-effekten

Mer värme stannar kvar vid jorden när halten av växthusgaser ökar i atmosfären. När temperaturen stiger, klimatet förändras och jordens naturliga växthuseffekt förstärks ökar risken för allvarliga effekter runt om i världen (Naturvårdsverket).

Det primära orosmomentet är hur klimatet kommer att påverkas i takt med den urbana utvecklingen. Temperaturen i en stadsmiljö på dagen kan ligga mellan 3-5°C högre än rurala områden, på natten kan denna temperaturskillnad vara upp till 12°C (Rosa dos Santos et al, 2017). Det finns ett flertal anledningar till varför urbana områden ackumulerar större mängder värme. Dock kan en del faktorer, såsom topografi, väderförhållanden och klimat, inte påverkas. Kvantiteten av vegetation, kvantiteten av hårdgjorda ytor samt färgvalet av dessa hårdgjorda ytor är däremot faktorer som människan kan påverka. Generellt är den urbana värmeö-intensiteten och dess påverkan på städer världen över likvärdig såvida de geografiska eller klimatologiska egenskaperna inte är inräknade. (Akbari et al, 1992)

Värmeö-effekten är ett resultat av våra städers förändrade natur. Våra städer tenderar att ha fler mörka ytor med ett lågt albedo, en radikal minskning i vegetation och därmed minskad evapotranspiration samt ökad antropogen värmeproduktion (Mohajerani, Bakaric & Jeffrey-Bailey, 2017). Höga nivåer av föroreningar i atmosfären (Perini & Magliocco, 2014) och en hög densitet av byggnader (Qiu et al, 2013) är ytterligare bidragande faktorer till värmeö-effekten. Värmeö-effekten innebär ökade temperaturer i våra städer och orsakar skador på befolkningens hälsa (Perini & Magliocco, 2014). En värmeö kan uppstå i en rad olika skalor. Fenomenet kan manifestera sig runt en ensam byggnad, mindre vegetativa ytor eller över en stor stad (Qiu et al, 2013).

Värmeö-effekten är som mest påtaglig under perioder av högtryck, låga vindförhållanden och med ett reducerat molntäcke. Således är sommaren den period då värmeö-effekten har högst påverkan. Solenergin lagras i hårdgjorda ytor i staden under dagen, denna energi frigörs från dessa ytor under natten och bidrar till högre temperaturer. I Europa har detta inneburit en ökad användning av kylsystem. Detta kommer för vissa länder inom EU innebära en fyra gånger större energikonsumtion enbart för luftkonditionering (Perini & Magliocco, 2014).

Genom att öka en stads albedo, införa skugga, samt sköta existerande vegetation och ventilationsvägar går det på så sätt att mitigera värmeö effekten (Watkins, Palmer & Kolokotroni, 2007).

3.2.2 Påverkan på människor

Värmeö-fenomenet beskrivs enklast genom att jämföra temperaturerna i stadskärnor mot temperaturerna på landsbygden. Temperaturerna inom staden kan däremot variera från plats till plats. Vissa platser kommer att ackumulera mer värme än andra och bilda så kallade mikroklimat. Mikroklimat påverkas av den direkt anslutande omgivningen beroende på den rumsliga uppbyggnaden och mängden vegetation. Mikroklimat påverkas också av det lokala klimatet i närliggande områden och klimatet som övergriper hela staden det vill säga mesoskala (Norton et al, 2013).

Mänsklig påverkan av klimatet och höga temperaturer är som mest påtaglig i mikroklimat. Detta eftersom luften mellan den rumsliga uppbyggnaden och marken skapar ett skikt av värme. Detta kallas även för trädkroneskiktet (Norton et al, 2013). Enligt ISO 7730 definieras termisk komfort när sinnets tillstånd uttrycker tillfredsställelse med den termiska miljön. Vid hög värme eller kyla kan kroppen uppfatta det som ett obehag eller missbelåtenhet och detta kategoriseras då som ett termiskt obehag (Watkins, Palmer & Kolokotroni, 2007).

Klimatförändringen leder till högre temperaturer globalt och effekterna av denna förändring kommer att vara mest påtaglig i världens städer (Watkins, Palmer & Kolokotroni, 2007). Vidare hävdar Watkins, Palmer & Kolokotroni (2007) att det är önskvärt att undersöka lösningar för att reducera den negativa påverkan högre temperaturer medför, för att på så sätt uppehålla mänsklig bekvämlighet och effektivitet, och undvika onödiga dödsfall som värmeböljor medför. Även Norton et al. (2015) uppger att när befolkningen har svårt att anpassa sig till den ökande värmen i städer så leder detta till en ökning av sjukdomar och dödsfall i samband med värmeböljor i städer. Koncentrationen, återhämtningen och kreativiteten hos människor ökar när välplanerad grönska införlivas (Boverket, 2010)

Högre temperaturer kan leda till kemiska reaktioner i luftburna föroreningar, vilket kan ge obehag i form av andningsproblem och ögonirritation hos vissa personer (Watkins, Palmer & Kolokotroni, 2007). Höga temperaturer kan påverka alla men vissa grupper av människor är mer sårbara. Äldre personer, personer med funktionsnedsättningar, spädbarn och sjuka kan ha svårt med att reglera sin kroppstemperatur. Europeiska studier har visat att kvinnor löper större risk än män för dödlighet under värmeböljor, däremot har studier för svenska förhållanden visat motsatsen. En förklaring till detta uppges kunna vara skilda sociala förhållande inom Europa (SMHI, 2011).

3.2.3 Vegetationens roll

Grön infrastruktur kan förekomma i många olika former och skepnader. Exempel på olika typer av grön infrastruktur är parker, urbana skogar, gatuträd, privata trädgårdar, gröna korridorer, gröna väggar och gröna tak. Beroende på form och storlek, kan grön infrastruktur förse den urbana miljön med varierande ekosystemtjänster. Exempel på olika ekosystemtjänster som vegetation bidrar med är: förändringar i det lokala mikroklimatet, estetiska förbättringar, minskad ytvattenavrinning, förebyggande mot översvämningar och hållbar dagvattenhantering (Gunawardena, Wells & Kershaw, 2017).

Enligt Akbari et al. (1992) går det att påverka klimatet och energiförbrukning genom vegetationens direkta- och indirekta effekter. Genom att få ner vindhastigheter och införa skugga, så påverkas samspelet mellan en byggnad och dess omgivning. Detta kategoriseras som en direkt effekt. Evapotranspiration är en process hos all vegetation som påverkar den omkringliggande urbana miljöns betingelser och kategoriseras som en indirekt effekt (Akbari et al, 1992). Infallande solstrålning omvandlas till latent värme med hjälp av vegetationen. Ett resultat av den lägre temperaturen är att människor utsätts för en reducerad värmestrålning, då marken och löven avger lägre långvågsstrålning än omgivande hårdgjorda ytor. Värmestrålning är en strålning som utsänds från ytor på grund av deras temperatur (Dimoudi & Nikolopoulou, 2003).

Vegetation kräver tillgängligt vatten för att kunna bidra med evapotranspiration. I den urbana miljön är det klokt att välja torktåliga växter på grund av den låga vattentillgången. Insatser för att tillåta att mer vatten gå ner i marken för att bibehålla grundvattennivån är fördelaktigt, en sådan insats kan vara att bryta upp impermeabla ytor och ersätta dessa med permeabla ytor. Vatten blir därmed tillgänglig för den urbana vegetationen och ökar kylningen som avges från evapotranspiration (Watkins, Palmer & Kolokotroni, 2007).

Vegetation förhindrar smogbildning, bidrar till bättre termisk bekvämlighet och resulterar i mindre ljusreflektioner och bländning (Mohajerani, Bakaric & Jeffrey-Bailey, 2017). Enligt Akbari et al. (1992) är vegetation en av de mest effektiva och enkla lösningar som finns för att spara energi samt minska värmeö-effekten i våra städer. Vidare skriver Akbari et al. (1992) att vegetation kan ha flera fördelar utöver en påverkan på klimatet. Vegetation är relativt billigt, förhållandevis lättskött, estetiskt tilltalande, bullerreducerande, jordbindande och ökar värdet på fastigheter (Akbari et al, 1992). Värmeö-effekten mitigeras av vegetationen, däremot kyler inte vegetationen ner luften utan värmer upp den mindre (Dimoudi & Nikolopoulou, 2003).

4. Vegetationens värmereducerande egenskaper i den urbana miljön

4.1 Albedo

Albedo är den andel av en kortvågig strålning som reflekteras från en yta (Naturskyddsföreningen, 2017). Albedo mäts på en skala från 0-1. Ett högre albedo på en yta innebär att mer solljus reflekteras bort. En yta med ett relativt högt albedo exempelvis 0,75 kommer att reflektera det mesta av solenergin, medans en yta med ett lågt albedo på 0,1 kommer att absorbera solenergin (Akbari et al, 1992). I genomsnitt är jordens albedo 0,3 vilket betyder att 30 procent av inkommande ljus reflekteras. (Naturskyddsföreningen, 2017).

En ytas termiska emissivitet bestämmer hur mycket värmestrålning en yta utstrålar vid en given temperatur. En yta som utsätts för solstrålning kommer att absorbera värme tills dess att ytan kommer avge lika mycket värme som den tar upp. När en yta avger lika mycket värme som den tar upp har den uppnått termisk jämvikt. En yta med hög termisk emissivitet kommer att uppnå termisk jämvikt vid en lägre temperatur än en yta med låg termisk emissivitet eftersom en yta med hög termisk emissivitet är mer benägen att avge värme (Wong et al, 2008).

Typ av yta	Anmärkning	Albedo (0-1)	Emissivitet (0-1)
Vatten	Låg zenitvinkel	0.03-0.10	0.92-0.97
	Hög zenitvinkel	0.10-1.00	0.92-0.97
Jord	Mörk, våt	0.05-	0.98-
	Ljus, torr	0.40	0.90
Lövfällande skog	Avlövat	0.15-	0.97-
	Löv	0.20	0.98
Gräs	Högt (1,0 m)	0.16-	0.90-
	Kort (0,02 m)	0.26	0.95
Betong	Mark	0.3	0.94
Tjärpapp	Tak	0.05	0.93

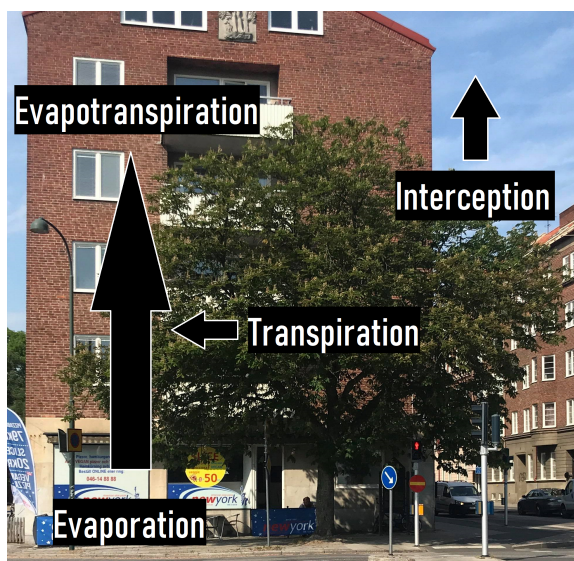
Tabell 1. En sammanställning av ett antal ytors albedo och emissivitet (Oke, 1987; Santamouris, 2006).

I en modern urban miljö finns fler mörka hårdgjorda ytor och mindre vegetation än på landsbygden. Dessa skillnader i staden gentemot landsbygden påverkar beboelighet, energiförbrukning och klimatet (Akbari, Pomerantz & Taha, 2001). Shashua-bar & Hoffman, (2000) och Perini & Magliocco, (2014) skriver att det huvudsakligen är på grund av den låga densiteten av vegetativa ytor och ett överskott av asfalt (låg albedo) som är orsaken till den urbana värmeö-effekten samt anledningen till varför den förvärras. Vidare skriver (Akbari, Pomerantz & Taha 2001) att den ökade temperaturen i luften och den höga andelen av mörka ytor, som alstrar värme, värmer upp byggnader vilket ökar behovet av luftkonditionering i byggnaderna. En ökning på 1°C i lufttemperaturen bidrar till 2-4% ökad elförbrukning.

En utökad vegetation i den urbana miljön samt ytor med högt albedo reducerar urbana lufttemperaturer. Denna reduktion sker inte genom att kyla luften utan genom att ersätta starka värmekällor med svagare, dvs. de värmer luften mindre. Genom att studera energibalansen vid varje yta, så kan man jämföra effektiviteten mellan en yta med högt albedo och en vegeterad yta. Kurn et al (1994) jämför i sin studie albedot mellan en trädunge och en asfalterad yta i Los Angeles under juli månad. Genom att ta i beräkning den energi som går åt för evapotranspirationsprocessen, så fick trädungen en albedo som var likvärdig en ljus färgad yta. Detta trots att träden var synligt mörkare (Kurn et al, 1994). Den inkommande solenergin till en plats förbrukas i vegetationens evapotranspiration, således påverkar albedo tillgängligt sol- och dagsljus. Albedo är därför en viktig parameter för de temperaturmässiga aspekterna av vegetationen. I genomsnitt ligger vegetationens albedo runt 0,20-0,25. Vegetationens albedo kan variera, växter som lever i varma och torra klimat tenderar att ha högre albedo på grund av låg nederbörd och hög evapotranspiration. På så sätt kan växter minska sin värmelagring (Dimoudi & Nikolopoulou, 2003).

4.2 Evapotranspiration

Avdunstning består av tre processer; evaporation, transpiration och interception. (Vattenbyggnad för urbana miljöer, 2013). Transpiration är den process då vatten absorberas genom rötterna och släpps ut genom löven som vattenånga med hjälp av klyvöppningarna (Akbari et al, 1992). Evaporation är den process då ytvatten omvandlas till gasform och avgår till atmosfären, detta sker bland annat ifrån jorden runt om vegetationen. Vatten kan även omvandlas till vattenånga genom interception då nederbörd landar på vegetationens blad och grenar, varpå det avdunstar direkt. Interceptionsprocessen är således en form av evaporation. Transpiration och evaporation refereras ibland tillsammans som evapotranspiration (Wong et al, 2008). Det är framförallt tre energikällor som bidrar till avdunstning: värme i luften, solstrålning och värmeenergi lagrad i en massa (Vattenbyggnad för urbana miljöer, 2013).



Figur 1. Evapotranspirations processen.
Illustratör: Författarna, 2018

Evapotranspiration är en process som sker i all vegetation. När träd och annan vegetation ersätts med asfalt eller betong, går evapotranspirationen förlorad och infiltrationen blir begränsad (Akbari et al, 1992; Coutts et al, 2015). Vatten som kan göras tillgänglig för evapotranspiration, kommer in i den urbana miljön genom nederbörd, avrinning, infiltration och bevattning (Coutts et al, 2015). Dock medför den höga andelen hårdgjorda ytor i kombination med omfattande dagvattensystem att nästan allt regnvatten dräneras bort (Norton et al, 2015). Evapotranspiration pågår så länge det finns vatten tillgängligt som kan matcha transpirationshastigheten. Därmed reducerar all vegetation lufttemperaturen

genom evapotranspiration. Utan vatten kommer vegetationen dö tillbaka under varma och torra perioder (Akbari et al, 1992). Transpiration är en biprodukt av vegetationens fotosyntes. När träd blir stressade, stängs klyvöppningarna (stomatan) i löven för att minimera vätskeförlust. Detta leder till att transpirationen och fotosyntesen slutar att fungera och löven kommer till slut att vissna och dö (Coutts et al, 2015).

I rurala och bevattnade landskap går solenergin inte åt för att öka lufttemperaturen utan används för att förångna vatten genom evapotranspiration. När asfalt och betong substituerar de vegetativa ytorna går solenergin vattenförångande egenskaper förlorade och solenergin bidrar istället till att värma upp hårdgjorda ytor. Detta är en av huvudorsakerna till varför stadsmiljön har en högre temperatur än det rurala landskapet (Akbari et al, 1992). En minskning av evapotranspiration leder till att den latent värmekonsumtionen i marken reduceras. Genom att den latent värmekonsumtionen försvinner så blir mer energi tillgänglig som sensibel värme. Denna värme kan direkt bidra till den urbana värmeö-effekten och den globala uppvärmningen, då marktemperaturerna höjs (Qiu et al, 2013).

Enligt Qiu et al (2013) bör det vara fullt möjligt att reducera den urbana och globala temperaturen med hjälp av evapotranspiration. Beräkningen i Qiu et al (2013) studie visar att den totala årliga globala evapotranspirationen tar upp ca 21,74 % av den tillgängliga solenergin vid toppen av atmosfären. Jämförelsevis använder människan årligen energi som motsvarar 0,33% av den årliga evapotranspirations konsumtionen. En strategi för att minimera värmeö effektens negativa påverkan är enligt ett flertal forskare en grönare urban miljö. Den urbana temperaturen kan reduceras med 0.5-4°C med hjälp av evapotranspiration som avges från vegetation och urbant jordbruk (Qiu et al, 2013). Coutts et al (2015) anser att det inte räcker att enbart införa mer grön infrastruktur i staden, då det inte går att sammankoppla mängden evapotranspiration och temperaturen på ytor i staden med endast vegetationstäckningen. Det är snarare mängden tillgängligt vatten som är en avgörande faktor för ökad evapotranspiration och lägre ytemperaturer.

4.3 Vindförhållande

Den urbana värmeö-effekten påverkas av de omkringliggande atmosfäriska förhållandena. På grund av att den urbana miljön är i konstant utveckling uppstår det störningar i de naturliga vindförhållandena och vattenmassorna. Vind och vatten spelar en avgörande roll när det kommer till värmeö-effekten. Höga vindhastigheter kan förbättra luftcirkulationen, ha en kylande effekt, skingra luftföroreningar och reducera den urbana temperaturen (Mohajerani, Bakaric & Jeffrey-Bailey, 2017).

Värmebalansen i kroppen är beroende av hastigheten som vinden har. Att öka vindhastigheten innebär generellt att värme förs bort från kroppen, vilket bidrar till att ett område känns svalare (Watkins, Palmer & Kolokotroni, 2007). Vindhastigheter över 4.5 m/s på vintern kan orsaka termiskt obehag och i kallare klimat ha kylande effekt. Det primära intresset i kalla regioner är att skapa skydd mot vinden för att öka den termiska komforten (Deak Sjöman, 2016). Under sommaren bidrar däremot vinden med friska brisar och då är vindskydd inte lika önskvärt (Akbari et al, 1992). Konstgjorda solida vindskydd är generellt ett sämre alternativ än att ta användning av vegetation med måttlig porositet som vindskydd. Barrväxter är inte alltid optimala vindskydd då de kan skapa ett för tätt vindskydd, vilket istället leder till en ökad turbulens. Däremot innefattar lövfällande växter ett bredare utbud av arter med varierande porositet (Deak Sjöman, 2016). Genom strategisk placering av träd kan man påverka hur vinden rör sig genom ett område och på så sätt styra kylande brisar (Akbari et al, 1992).

Akbari et al (1992) refererar till Dr. Gordon Heisler från U.S Forest Service som har påvisat vilka effekter utspridda träd har på vindhastigheter. Studien visade att en ökning av trädtäckningen på 10% i ett bostadsområde kan få ner vindhastigheterna med 10–20% beroende på husdensiteten och en 30% ökning av trädtäckning kunde reducera vindhastigheterna med 15-35%. Under vinterhalvåret utfördes också tester som visade att vindhastigheter på träd som föllt sina löv, träden kunde då reducera 50-90% av deras värde under sommarhalvåret.

4.4 Skugga

En effektiv strategi för att minska värmebelastning på en hårdgjord yta i ett varmt klimat är skugga. Att skugga en gata kan ge en kombinerad effekt då den både skyddar gångtrafikanter från direkt solstrålning samt minskar temperaturen på gatans ytor (Watkins, Palmer & Kolokotroni, 2007). Skugga från vegetation reducerar hårdgjorda ytors långvågiga strålning och håller nere mängden solljus som reflekteras från dessa ytor. På så sätt bidrar skugga från träd på fler sätt än att enbart skugga personer. Vegetationen kan bidra avsevärt till den termiska komforten även när skuggans effekt på lufttemperaturen är försumbar (Shashua-Bar, Pearlmutter & Erell, 2009).

Vegetation kan blockera upp till 95% av den inkommande solstrålningen, under optimala förutsättningar avseende lövdensiteten och form. Även avlövnade träd på vintern bidrar till att blockera den inkommande solenergin med 50%. Akbari et al (1992) anser att skuggträd bidrar till reducerad energiförbrukning i huset som skuggas. Genom att skugga ytor på huset förhindras värmealstringen på dessa ytor och således värmen som tillslut tränger in i byggnaden. Att skugga fönsterrutor förhindrar att direkt solljus tar sig in i byggnaden och skugga under trädet medför att jordlagret runtom byggnaden håller sig svalt, den svala jorden kan sedan fungera som ett kylelement för hela huset (Akbari et al, 1992).

Skuggträd bör placeras korrekt för att förse kritiska ytor med skugga och därmed maximera effekten av skuggan. En byggnad bör skuggas så att den sena morgon, eftermiddags och tidiga kvällssolen blockeras. På vintern spelar också skuggträdets placering en roll, då blockering av den värmande solstrålningen kan upplevas negativt. Genom att placera lövfällande träd anses detta inte längre som ett problem, då det mesta av solljuset tar sig igenom det avlövnade trädet (Akbari et al, 1992).

Studier utförda av Akbari et al (1997) påvisade kylningseffekten av skugga från vegetation mot en husvägg. Trädens skugga i undersökningen kunde reducera temperaturen på en husvägg från 13°C över lufttemperaturen ner till endast 2°C över lufttemperaturen i området, även högre temperaturskillnader uppmättes i undersökningen.



Figur 2. Skuggbildning från träd. Illustratör: Författarna, 2018

5. Gröna system

5.1 Träd

Träd och dess fördelar kan indelas i två kategorier, direkta- och indirekta effekter. Ett exempel på en direkt effekt är skugga på byggnader. Kylning som avges via evapotranspiration och att vindhastigheten minskar med hjälp av trädkronornas undre del är exempel på indirekta effekter (Akbari et al, 1992). Träd reflekterar och absorberar solstrålning, vilket medför skugga och lägre temperaturer på marken. Norton et al (2013) anser att en ökning av trädkronstäckningen är en av de mest kostnadseffektiva strategierna för att kyla ner byggnader och mindre områden. Trädens förmåga att bidra till skugga beror på ett antal faktorer såsom stam, lövverk och trädkrona. Träd med en tät krona och hög lövdensitet bidrar till speciellt god skuggbildning. Lövträd är mer fördelaktiga ur ett temperatursänkande förhållningssätt än barrträd, då de ofta har en bredare och tätare krona (Norton et al, 2013).

Många städer har redan väletablerade urbana skogar och andra nätverk av grön infrastruktur. Under varma och torra perioder är vegetation och dess kylningseffekt av stor betydelse, dock är det under dessa perioder vegetationen lider som mest av vattenstress. Avlövnings och tillslut död är två utfall som låg vattentillgång och höga temperaturer medför. Träd har en stor inverkan på reduktion av lufttemperaturen och innefattar ofta höga ersättningskostnader, därmed är bortfall av stora träd under torra och varma perioder mest påtaglig i den urbana miljön (Norton et al, 2015). Shashua-bar, Pearlmutter & Erell (2009) redovisar i sin studie från tester i Israel att träd avger mest kyla genom evapotranspiration sett till mängden vatten som förbrukas i jämförelse med gräs.



*Figur 3. Träd i ett bostadsområde.
Illustratör: Författarna, 2018*

Urbana områden är däremot ett hot mot trädens tillväxt, då det finns stor andel hårdgjorda ytor, låg markfukt, förändrade jordegenskaper och höga föroreningar inne i våra städer (Norton et al, 2013). Genom att plantera träd i den urbana miljön är det möjligt att påverka mängden koldioxid som släpps ut. Med hjälp av skuggning och reduktion i lufttemperaturer runt byggnader minimeras behovet av luftkonditionering, vilket i sin tur leder till att mängden koldioxid som släpps ut från kraftverk minskar (Akbari et al, 1992). Fler arter av träd kan bidra till att öka klimatresiliensen och bidra till fler ekosystemtjänster. Träd planterade på så sätt att de tillsammans bildar en heltäckande krona i staden är inte optimalt, då detta kan bidra till att värmen fastnar under träden på natten. Att blanda träd med olikformade trädkronor kan minimera detta problem, samtidigt som att fördelarna med ökad klimatresiliens och ett bredare utbud av ekosystemtjänster tillgodoses (Norton et al, 2013).

5.2 Gröna tak

Ett tak som använder sig av vegetation för att förbättra det estetiska eller den miljömässiga prestandan klassas som ett grönt tak. I den urbana miljön är tak en av de ytor som absorberar mest värme under dagen. Gröna tak kan spela en avgörande roll för att reducera temperaturen i den urbana miljön. Två vanliga klassificeringar av gröna tak är extensiva- och intensiva tak. Extensiva tak stödjer endast ett begränsat utbud av små växter då de har ett tunt jordlager (2-20 cm). Ett intensivt tak kan stödja ett större utbud av plantor exempelvis träd och stora buskar eftersom de har ett tjockare jordlager (Norton et al, 2013). Gröna tak använder växter för att minska värmeladdningen som når byggnaden från solstrålar och lufttemperaturen. Vegetation absorberar solstrålar för att kunna fullfölja sin livscykel. Livscykeln innebär processer som fotosyntes, evapotranspiration och andning. Jordlagret som vegetationen växer i ger extra isolering till byggnaden och vattnet i jorden bidrar till ökad termisk tröghet i konstruktionen. Vegetationen påverkar dessutom den värmestrålning och konvektion som sker genom takytan. (Zinzi & Agnoli, 2012). Livslängden hos gröna tak är relaterat till takytans temperatur och enligt ett flertal forskare är det möjligt att dubblera livslängden hos gröna tak om de är väl anpassade efter klimat och miljö (Qiu et al, 2013).

Gröna tak kan representera upp till 32% av den horisontella ytan i bebyggda områden och kan därmed spela en viktig roll i att hålla nere temperaturerna i stadskärnor. En temperatursänkning på 0,8°C i New York kan vara möjlig om 50% av taken inne i staden täcks av vegetation (Perini & Magliocco, 2014). En omfattande implementering av gröna tak, kan leda till minimering av den urbana energiförbrukningen och värmeö-effekten. Studier utförda av Qiu et al (2013) fokuserade på två kylningseffekter från gröna tak: omgivningstemperatur och ytemperatur på tak. Omgivningstemperatur är den temperatur som människor känner av och bör vara måttlig för att behaga människor. Enligt Qiu et al (2013) kan kylningseffekterna på omgivningstemperaturen från gröna tak ligga mellan 0,24°C till 4°C. Implementeringen av gröna tak kan reducera takytans temperatur mellan 0,8°C till 60°C. Den höga temperaturreduceringen på takytan kan bero på ett antal faktorer och egenskaper hos taket. Takets läge i staden, albedo, klimatet och växtarterna är några faktorer som påverkar hur mycket ett grönt tak kan reducera ytemperaturen (Qiu et al, 2013). Gröna tak med växter i varierad höjd, tät lövtäckning samt hög vegetationstäckning har visat sig ge goda resultat vid minskning av taktemperaturer.

Enligt Norton et al (2013) är det fortfarande oklart om gröna tak har en temperaturpåverkande effekt i större utsträckning, studier visar dock att gröna tak kan ha en viktig roll i att mildra värmeö-effekten i staden. Bevattnade extensiva gröna tak har speciellt god effekt på temperaturen i staden, då gröna tak kyler ner luften med hjälp av evapotranspiration när vatten är tillgängligt (Norton et al, 2013).

5.3 Vertikala grönsystem

När vegetation växer på eller bredvid en husvägg är fackuttrycket vertikalt grönsystem. Vertikala gröna system innefattar två kategorier; gröna väggar och gröna fasader. Klätterväxter som tillåts klättra längs med byggnader kallas gröna fasader. En klätterväxt kan förankras mot en byggnad i någon form av spalje en bit utanför husväggen eller klättra längs med fasaden. Klätterväxterna för gröna fasader kan planteras direkt i jorden vid huskroppen eller i en planteringslåda på vilken höjd som helst på byggnaden (Norton et al, 2015). Klätterväxter kan vara ett bra alternativ när det finns ont om plats då de växer snabbt och behöver mindre jord och utrymme. Klätterväxter som skuggar byggnader reducerar värmealstringen som sker mot husväggen, därmed minimeras även värmen som tar sig in i huset (Wong et al, 2008). Gröna fasader kan även höja en plats estetiska värden och bidra till svalka genom evapotranspiration (Norton et al, 2013).

Gröna väggar består av vegetation planterad i modulära paneler eller hydroponiska gardiner som monterats på husväggen (Norton et al, 2013). Implementeringen av gröna väggar i en större skala är inte realistiskt, då det på grund av höga installations-, livscykel- och underhållskostnader gör det relativt kostsamt (Norton et al, 2015). Vertikala gröna system täcker ytor som annars fångar upp och alstrar värme och bidrar därmed till ytorna de växer mot med ökad isolering. Vertikala gröna system avger kyla genom skugga och evapotranspiration. Fasader med ljusa färger blir inte lika varma eftersom de reflekterar en stor del av den inkommande solstrålningen. Därmed bör mörka fasader i städer prioriteras för att reducera värmestrålningen från dessa ytor. Gröna fasader bör därav placeras längst med gångstråk för att nyttja gångtrafikanter (Norton et al, 2015).

Akbari et al (1992) refererar till mätningar som visar att plantering av klätterväxter i spaljeer eller placering av träd runt en extern luftkonditionering kan reducera lufttemperaturen runt apparaten med 3,3-3,85°C vilket i sin tur kan bidra till att effektiviteten hos luftkonditionering ökar med tio procent.



*Figur 4. Vertikalt grönsystem.
Högevallsbadet, Lund.
Illustratör: Författarna, 2018*

5.4 Parker och grönområden

Öppna gröna ytor i den urbana miljön är huvudsakligen gräsytor med en relativt gles trädkronstäckning. Exempel på sådana ytor är rekreationsområden, prydnadsparker och golfbanor. I varma urbana miljöer kan öppna grönytor potentiellt förse öar med kyla beroende på deras uppbyggnad och hur de förvaltas avseende bevattnings. Därmed är det viktigt att dessa öppna ytor är placerade lättillgängligt så att alla kan dra nytta av dessa ytor. Beroende på vindriktning och storleken på grönytorna kan de även bidra till att kyla ner angränsande urban miljö (Norton et al, 2015). I stora urbana parker ökas evapotranspirationen med hjälp av vinden. Lufttemperaturen i dessa parker kan vara 3.85°C lägre än omkringliggande bostadsområden (Akbari et al, 1992). Grönytor som innehåller spridda träd och får god tillgång till vatten har störst kylningseffekt. Dock, för att fastställa den potentiella kylningseffekten, är den rumsliga uppbyggnaden och den vegetativa strukturen viktig (Norton et al, 2015).

Flertal studier tar upp vegetationen som en avgörande faktor för ett förändrat klimat i den urbana miljön. Under de senaste decennierna har ett flertal undersökningar utförts om vegetation och dess kylningseffekt. Huvudmålet i dessa studier har varit att ta fram lösningar som kan minska värmeö-effekten och påverka det lokala klimatet. Resultatet av studierna har visat ett samband mellan lufttemperaturen i närmiljön och storleken på vegetativa ytor (Qiu et al, 2013; Upmanis et al, 1998; Shashua-bar & Hoffman, 2000).

Större vegetativa ytor i staden påverkar i större utsträckning lufttemperaturen i omkringliggande områden och påverkar också i högre grad lufttemperaturen på längre distanser, då vinden för med sig den nedkylda luften från dessa ytor (Qiu et al, 2003). Upmanis et al (1998) menar att större parker kan bidra till en nedkylning av omgivande stad upp till en kilometers avstånd från parken. Mindre parker gör också viss skillnad på temperaturen i omgivningen, men inom ett avsevärt kortare område. Shashua-bar & Hoffman (2000) anser att mindre parker har en liten men aktningvärd påverkan på den urbana temperaturen, en liten park på 0,5ha visade effekter på lufttemperaturen 20-150 m utanför området. Vidare refererar Shashua-bar & Hoffman (2000) till en studie av Hunjo & Takakura (1990) som anser att små grönområden placerade med intervaller är att föredra framför stora grönområden tätt intill varandra, för att uppnå bättre kylningseffektivitet i området. Skugga i små gröna områden bidrar till den största delen av kylningseffekten. Andra faktorer som förhindrar att solljuset infaller spelar också en avgörande roll i att fastställa kylningseffekten i ett grönområde. Dock är det en hel del faktorer som avgör kylningseffekten i ett område så som jordförhållande, topografi, geometriska förhållanden, trafikintensitet m.m. (Shashua-bar & Hoffman, 2000).

Det är möjligt att uppnå en signifikant reduktion av lufttemperaturer i meso-skala genom att öka den totala ytan av grönytor tvärs över en stad. Öppna grönytor är den mest utbredda form av grön infrastruktur. Att skapa innovativa lösningar för nya öppna grönytor samt att utöka omfattningen av grön infrastruktur är därför kritiskt (Norton et al, 2013).

6. Analys

6.1 Analys av faktorer och olika vegetationstypers inverkan på värmereduktionen i städer

Albedo

Kylningseffekt: En utökad vegetation i den urbana miljön samt ytor med högt albedo reducerar den urbana lufttemperaturen. I genomsnitt ligger vegetationens albedo kring 0.2-0.25 dvs. ett relativt lågt albedo men genom att ta i beräkning den energi som går åt för evapotranspirations processen får vegetation ett albedo likvärdigt en ljus färgad yta (Kurn et al, 1994).

Fördelar: Ytor med högt albedo kan bidra till att reducera den urbana lufttemperaturen. Denna reduktion sker dock inte genom att kyla luften utan genom att ersätta starka värmekällor med svagare dvs. de värmer luften mindre (Kurn et al, 1994).

Nackdelar: Det är svårt att fastställa hur stor skillnad det blir i lufttemperaturen i staden då det beror på materialets albedo och emissivitet. Då städer tenderar att ha hårdgjorda ytor som alstrar värme på grund av sitt låga albedo påverkar detta elförbrukningen i byggnader. 1°C i lufttemperaturen bidrar till 2-4% ökad elförbrukning (Akbari, Pomerantz & Taha 2001).

Evapotranspiration

Kylningseffekt: Evapotranspiration pågår så länge det finns vatten tillgängligt som kan matcha transpirations hastigheten. Därmed reducerar all vegetation lufttemperaturen genom evapotranspiration (Akbari et al, 1992). Enligt Qiu et al (2013) kan den urbana temperaturen över hela staden reduceras med 0.5-4°C genom evapotranspirationen som avges från vegetation och urbant jordbruk.

Fördelar: Evapotranspiration är en process som sker i all vegetation. Den totala globala evapotranspirationen tar upp ca 21,74% av den tillgängliga solenergin vid toppen av atmosfären (Qui et al, 2013). Däremot innefattar städer generellt inte stora mängder vegetation som kan ta upp den inkommande solenergin, därav bör städer sträva mot en utökning av grön infrastruktur.

Nackdelar: Eftersom att man inte kan säkerställa att det finns vatten tillgängligt i den urbana miljön så kan man inte alltid dra nytta av evapotranspirationen som ett värmereducerande verktyg. Evapotranspiration pågår så länge det finns vatten tillgängligt som kan matcha transpirationshastigheten (Akbari et al, 1992).

Vindförhållande

Kylningseffekt: Genom att påverka den rumsliga uppbyggnaden i staden med hjälp av vegetation så kan man styra kylande brisar och skapa vindskydd. I kallare regioner kan det vara önskvärt att sänka vindhastigheter medan det i varma regioner är önskvärt att få in kalla brisar i staden (Deak Sjöman, 2016 & Akbari et al, 1992).

Fördelar: Vegetationen har direkta effekter på vindhastigheten. Studier har visat att om ett befintligt bostadsområde ökar mängden träd med 10% så är det möjligt att få ner vindhastigheten med 10-20% (Akbari et al, 1992). Vegetation är fördelaktigt som vindskydd framför konstgjorda solida vindskydd då de inte helt förhindrar vindens framfart (Deak Sjöman, 2016).

Nackdelar: Minskningen av vindhastigheten från vegetation påverkas av trädets uppbyggnad och porositet (Deak Sjöman, 2016). Det krävs planering för att skapa optimala placeringar av träd så att de styr vinden på ett önskvärt sätt (Akbari et al, 1992).

Skugga

Kylningseffekt: Att skugga en gata kan ge en kombinerad effekt då den både skyddar gångtrafikanter från direkt solstrålning samt minskar temperaturen på gatans ytor. Skugga från vegetation reducerar hårdgjorda ytors långvågiga strålning och håller nere mängden solljus som reflekteras från dessa ytor (Shashua-Bar, Pearlmutter & Erell, 2009). Enligt Akbari et al (1997) kan införandet av skugga på en husvägg reducera temperaturen avsevärt. En temperatur på 13°C över lufttemperaturen vid en husvägg kan reduceras ner till endast 2°C över lufttemperaturen i området med hjälp av skuggträd.

Fördelar: Under optimala förutsättningar avseende lövdensitet och form kan vegetation blockera upp till 95% av den inkommande solstrålningen och bidrar därmed till en reducerad energiförbrukning i huset (Akbari et al, 1992).

Nackdelar:

Avlövade träd på vintern kan bidra till att blockera den inkommande solenergin med 50% jämfört med 95% på sommaren. I kallare regioner kan blockering av den värmande solstrålningen upplevas negativt (Akbari et al, 1992).

Träd

Kylningseffekt: Träd bidrar till temperaturförändringar i staden genom skugga, kyla från evapotranspiration och styrning av vinden (Akbari et al, 1992). Trädens förmåga att bidra till skugga beror på ett antal faktorer såsom stam, lövverk och trädkrona. Träd med en tät krona och hög lövdensitet bidrar till speciellt god skuggbildning (Norton et al, 2013).

Fördelar: Norton et al (2013) anser att ökning av trädkronstäckningen är en av de mest kostnadseffektiva strategier för att kyla ner byggnader och mindre områden. Studier genomförda i Israel visade att träd avger mer kyla än gräs genom evapotranspiration sett till mängden vatten som förbrukas (Shashua-bar, Pearlmutter & Erell, 2009).

Nackdelar: Under varma och torra perioder när kylningseffekterna av träd är av störst betydelse så är också vattentillgången generellt som lägst. Vattenstress leder till avlövning och tillslut död och träden kommer då inte att bidra med sina temperatursänkande fördelar (Norton et al, 2015). Träd planterade så att de tillsammans bildar en heltäckande krona i staden är inte optimalt, då detta kan leda till att värmen fastnar under trädkronorna på natten (Norton et al, 2013).

Grönatak

Kylningseffekt: Gröna tak minskar värmeladdningen som når byggnader från solstrålar och lufttemperaturen (Zinzi & Agnoli, 2012). Gröna tak bidrar med kylning av omgivningstemperaturen och på ytemperaturen. Kylningseffekten på omgivningstemperaturen kan ligga mellan 0.24°C - 4°C. Genom att implementera gröna tak kan en reduktion av takytans ytemperatur på 0,8°C - 60°C uppnås (Qiu et al, 2013).

Fördelar: Enligt Perini & Magliocco (2014) kan en temperatursänkning på 0.8°C i New York uppnås om 50% av taken inne i staden täcks av vegetation. Gröna tak kan representera upp till 32% av den horisontella ytan i bebyggda områden och kan därmed spela en viktig roll i att hålla nere temperaturerna i stadskärnor.

Nackdelar: Enligt Norton et al (2013) är det oklart om gröna tak har en temperaturpåverkande effekt i större utsträckning, dock visar studier att gröna tak har en potentiellt viktig roll i att mildra värmeö-effekten. Gröna tak är som all vegetation beroende av vatten för att kunna bidra med kylningseffekt genom evapotranspiration.

Vertikala grönsystem

Kylningseffekt: Vertikala grönsystem bidrar med svalka genom evapotranspiration. Gröna fasader och gröna väggar reducerar värmealstringen på byggnader genom att skugga ut solens strålning, vilket leder till att mindre värme tar sig in i byggnaden. Vertikala grönsystem bidrar även med ökad isolering på byggnader (Norton et al, 2015). Effektiviteten hos luftkonditionering kan ökas med 10% genom att klätterväxter planteras runt externa luftkonditioneringar där de reducerade lufttemperaturen med 3,3C till 3,85C runt apparaten (Akbari et al, 1992).

Fördelar: Klätterväxter växer snabbt och kräver mindre jord och utrymme, vilket gör gröna fasader till ett bra alternativ på platser med lite utrymme (Norton et al, 2013).

Nackdelar: Gröna väggar har en hög installations-, livscykel- och underhållskostnad, vilket medför att omfattande implementering i städer inte är realistiskt (Norton et al, 2015).

Parker och grönområden

Kylningseffekt: I varma urbana miljöer kan öppna grönytor potentiellt förse öar med kyla beroende på deras uppbyggnad och hur de förvaltas avseende bevattnings (Norton et al, 2015). Lufttemperaturen i dessa parker kan vara 3.85°C lägre än omkringliggande bostadsområden (Akbari et al, 1992). Grönytor som innehåller spridda träd och får god tillgång till vatten har störst kylningseffekt (Norton et al, 2015). Enligt Qiu et al (2003) är det de större vegetativa ytorna i staden som påverkar lufttemperaturen inte enbart i omkringliggande områden utan även lufttemperaturen på längre distanser.

Fördelar: Stora parker kan bidra till en nedkylning av omgivande stad upp till en kilometers avstånd från parken. Mindre parker gör också viss skillnad på temperaturen i sin omgivning men inom ett avsevärt kortare område (Upmanis et al, 1998). Det är möjligt att uppnå en signifikant reduktion av lufttemperaturer i mesoskala genom att öka den totala ytan av grönytor tvärs över en stad (Norton et al, 2013).

Nackdelar: Grönområden bör placeras lättillgängligt så att alla kan dra nytta av dess kylningseffekt, vilket kräver omfattande planering och prioritering av mark för nyetablering av parker (Norton et al, 2015).

6.2 Sammanfattande analys

Albedo, evapotranspiration, vindförhållande och skugga är faktorer som påverkar vegetationens kylningseffektivitet i staden. Däremot är alla faktorer inte lika väsentliga för alla typer av gröna system. Evapotranspiration som pågår i all vegetation kan ha direkta effekter på reduktionen av lufttemperaturen i staden. Qiu anser att den urbana lufttemperaturen kan reduceras med 0.5-4°C genom evapotranspirationen från vegetation och urbant jordbruk. Däremot är det tydligt enligt flera studier att näst intill ingen kylning avges genom evapotranspiration under extremt varma och torra perioder. Andra faktorer som vegetationens påverkan på vindförhållande och som skuggbildare anser vi kommer ha en större effekt på reduktion av lufttemperaturen under dessa varma och torra perioder. Utan evapotranspiration kan växter inte göra sig av med den värme som de absorberar eftersom den inkommande solstrålningen förbrukas genom evapotranspirationsprocessen. Solenergin som förbrukas leder till att vegetation som har ett relativt lågt albedo 0.2-0.25 kan få ett likvärdigt albedo som en ljusfärgad yta. Albedo kylvärme inte direkt luften utan det handlar om att ersätta starka värmekällor med svagare. Det är detta som gör att grönytor är att föredra framför hårdgjorda ytor eftersom solstrålningen går åt i evapotranspirationsprocessen istället för att lagras i hårdgjorda ytor.

Skugga reducerar hårdgjorda ytor och dess långvågiga strålning och håller nere mängden solljus som reflekteras. Studier från Akbari påvisade att temperaturen på en husvägg kunde minska med 11°C med hjälp av skuggträd. Under sommarhalvåret kan detta ha en stor påverkan på att reducera den urbana lufttemperaturen. Avlövnade träd under vinterhalvåret blockerar däremot endast 50% av den inkommande solstrålningen jämfört med 95% på sommaren. Även om skuggträd under sommarhalvåret bidrar till en mer reduktion av lufttemperaturen har skuggträd ändå en inverkan under vinterhalvåret. I ett kallare klimat kan värmen från solstrålarna uppfattas som något positivt medan det i varma klimat kan skapa obehag. Likaså uppfattas vindförhållande på olika sätt i olika klimat. Deak Sjöman & Akbari anser att det i kallare klimat kan vara önskvärt att sänka vindhastigheten medan i varmare regioner är det önskvärt att styra brisarna in i staden. Att utnyttja vegetationen som vindskydd är att föredra då de inte helt förhindrar vindens framfart.

Vi anser att val av trädart och dess uppbyggnad är att ta i beaktning vid planering och utformning av grönytor eftersom behovet av skugga och styrningen av vinden varierar beroende på klimat. Alla dessa faktorer spelar en avgörande roll i att reducera lufttemperaturen i den urbana miljön men har varierande betydelse i olika avseenden. Klimatet är en aspekt som påverkar hur vegetationen reducerar lufttemperaturen. Tillgång till vatten är en annan aspekt som är nödvändig för att vissa faktorer ska kunna reducera temperaturen. Därav är det svårt att gradera vilken temperatur reducerande faktor hos vegetationen som bidrar mest till att kyla städer.

Träd, gröna tak, vertikala grönsystem, parker och öppna grönområden är olika typer av gröna system i städer som är av stor betydelse för att reducera den urbana värmeö-effekten och öka den termiska komforten. Träd påverkar den urbana lufttemperaturen genom evapotranspiration, skugga och styrning av vinden. Norton anser att en av de mest kostnadseffektiva lösningarna för att kyla byggnader och mindre områden är införandet av träd. Skugga som hanterats tidigare i

litteraturstudien bidrar till en stor del av kylningen, kylning genom evapotranspiration har däremot även visat sig vara mer effektiv från träd sett till mängden vatten som förbrukas jämfört med gräs. Träd kan också användas för att påverka den rumsliga uppbyggnaden i staden och på så sätt ha en effekt på hur vinden rör sig genom staden. Trädens effekt på att reducera lufttemperaturer går dock till viss del förlorade vid avsaknaden av vatten, det är därav viktigt att välja träddarter som är anpassade för urban miljö.

I den urbana miljön är tak en av de ytor som absorberar mest värme under dagen. Gröna tak kan därmed ha en avsevärd effekt i att reducera yttemperaturen på tak. Enligt Qiu kan en implementering av gröna tak reducera yttemperaturen på tak med 0,8°C-60°C. Vilket jämfört med skugga är en betydligt mer effektiv temperatur-reducering. Denna reduktion beror på de isolerande kvalitéerna hos gröna tak. Gröna tak bidrar också med att reducera omgivningstemperaturen, denna reduktion kan ligga mellan 0.24-4°C enligt Qiu. En omfattande implementering av gröna tak kan ha effekt på temperaturen inom större områden. Perino och Magliocco menar att om 50% av taken i New York täcks av vegetation så kan lufttemperaturen över staden reduceras med 0.8°C. Eftersom gröna tak kan representera upp till 32% av den horisontella ytan så kan gröna tak därmed ha en stor påverkan på temperaturen i den urbana miljön däremot menar Norton att det är oklart om hur stor påverkan gröna tak har på reduktionen av lufttemperaturen i större utsträckning.

Vertikala grönsystem innefattar gröna fasader och gröna väggar och reducerar värmealstringen på byggnader genom att skugga ut solens strålning. Vertikala grönsystem bidrar med svalka genom evapotranspiration och reducerar lufttemperaturen. En omfattande implementering av vertikala grönsystem är dock inte realistiskt eftersom de har en hög installations-, livcykels- och underhållskostnad. Gröna fasader är därför ett bra alternativ vid platser med litet utrymme eftersom klätterväxter kräver mindre jord och utrymme och växer förhållandevis snabbt. Eftersom gröna väggar och fasader inte har lika hög kylningseffekt som övriga gröna system är placering av vertikala grönsystem en viktig aspekt. Genom att placera ut väggar/fasader lättillgängligt i den urbana miljön kan den termiska komforten öka bland människor även om de i själva verket inte sänker den urbana temperaturen i någon större omfattning.

Grönområden är större ytor med vegetation. Lufttemperaturen i parker i den urbana miljön kan vara 3.85°C lägre än omkringliggande bostadsområden enligt Akbari. Gröna parker reducerar däremot inte enbart temperaturen inom sitt egna område utan kan även med hjälp av vinden sprida ut kylan i närliggande områden. Upmanis anser att kylan från större parker kan påverka temperaturen i områden på upp till en kilometers avstånd från parken och att mindre parker också påverkar omkringliggande områden men då inom ett kortare avstånd. Parkers uppbyggnad påverkar hur mycket kyla som avges, Norton menar att grönområden med spridda träd med god vattentillgång har störst kylningseffekt. Det är tydligt att grönområden med träd bidrar till mer kylning än öppna grönområden med enbart gräs då evapotranspirationen från träd är betydligt mer effektiv än den evapotranspiration gräs bidrar med. Grönområden kräver en större mängd yta. I etablerade städer kan det därför vara svårt att finna utrymme för att etablera nya grönområden, Norton menar att en utökning av den totala ytan av grönområden genom en stad så uppnår man en signifikant reduktion av lufttemperaturen på meso-skala.

Det är tydligt att olika typer av grönsystem bidrar till reducering av lufttemperaturer i den urbana miljön, den direkta effekten på lufttemperaturen varierar däremot mellan de olika typerna av grön system som hanterats i litteraturstudien. Det är också tydligt att de temperatur reducerande faktorer som vegetationen besitter påverkar olika typer av gröna system i varierande omfattning. I grund och botten handlar det om mängden tillgängligt vatten i den urbana miljön. Det tillgängliga vattnet påverkar hur effektiv vegetationen kommer att vara i att reducera lufttemperaturen.

7. Diskussion

7.1 Resultatdiskussion

Flera studier betonar att grön infrastruktur är ett värdefullt verktyg för att mitigera effekterna av klimatförändringarna, men även för att anpassa samhället till ett förändrat klimat. Den fortskridande utvecklingen i den urbana miljön är en av huvudorsakerna till att det uppstår mikroklimat (Mohajerani, Bakaric & Jeffrey-Bailey, 2017). Mängden hårdgjorda ytor, ytor med lågt albedo och bristen på vatten i vår urbana miljö är några orsaker till värmeö-effekten. Med hjälp av att införa vatten i den urbana miljön är det möjligt att reducera värmeabsorption. Vegetation kräver vatten för sin livscykel. Vatten kan därmed öka vegetationens effektivitet som skuggbildare och bidra med ökad kylning genom evapotranspiration. Bristen på vatten kan härledas till omfattande ledningssystem och mängden ogenomträngliga hårdgjorda ytor som leder bort det vatten som tar sig in i den urbana miljön. Vi anser att det är tydligt att det krävs en utökad kompetens för att kunna arbeta mot en mer hållbar dagvattenhantering i den urbana miljön. Städer bör se till att allt vatten tas tillvara och återbrukas i så stor utsträckning som möjligt. En väletablerad dagvattenhantering kan leda till en minimering av värmestressen som uppstår i vegetationen vid extrema värmeböljor. En minimerad värmestress leder till ökad kylningseffekt från vegetationen genom evapotranspiration.

De flesta studier är eniga om att vegetation är en viktig del i arbetet mot ett fortsatt hållbart samhälle. Vegetation påverkar direkt och indirekt temperaturen i staden, men bidrar även med flera andra ekosystemtjänster som ökad estetik, minskad ytvattenavrinning, biodiversitet och hållbar dagvattenhantering m.m. Enligt Europeiska kommissionen (2013) är det möjligt att bekämpa klimatförändringarnas effekter och uppnå en hållbar struktur genom att använda sig av ekosystem-baserade metoder. Samtidigt verkar den gråa infrastrukturen ofta prioriteras högre än den gröna. Norton et al. (2015) påpekar att grönområden för urban kylning och hur dessa ska prioriteras är ett pågående forskningsområde. Vi anser att vikten av att fastställa de verkliga effekterna som vegetation har på temperaturen och andra ekosystemtjänster i vår urbana miljö är nästintill ovärderlig. Då en utökad förståelse för vegetationens värmereducerande egenskaper kan leda till en förändring i hur städer prioriterar ytor i staden. Genom att införa och arbeta med strategisk planering av grön infrastruktur är det möjligt att tillgodose fler ekosystemtjänster som ger exempelvis ökad klimatresiliens, som i sin tur ökar människors välbefinnande i den urbana miljön.

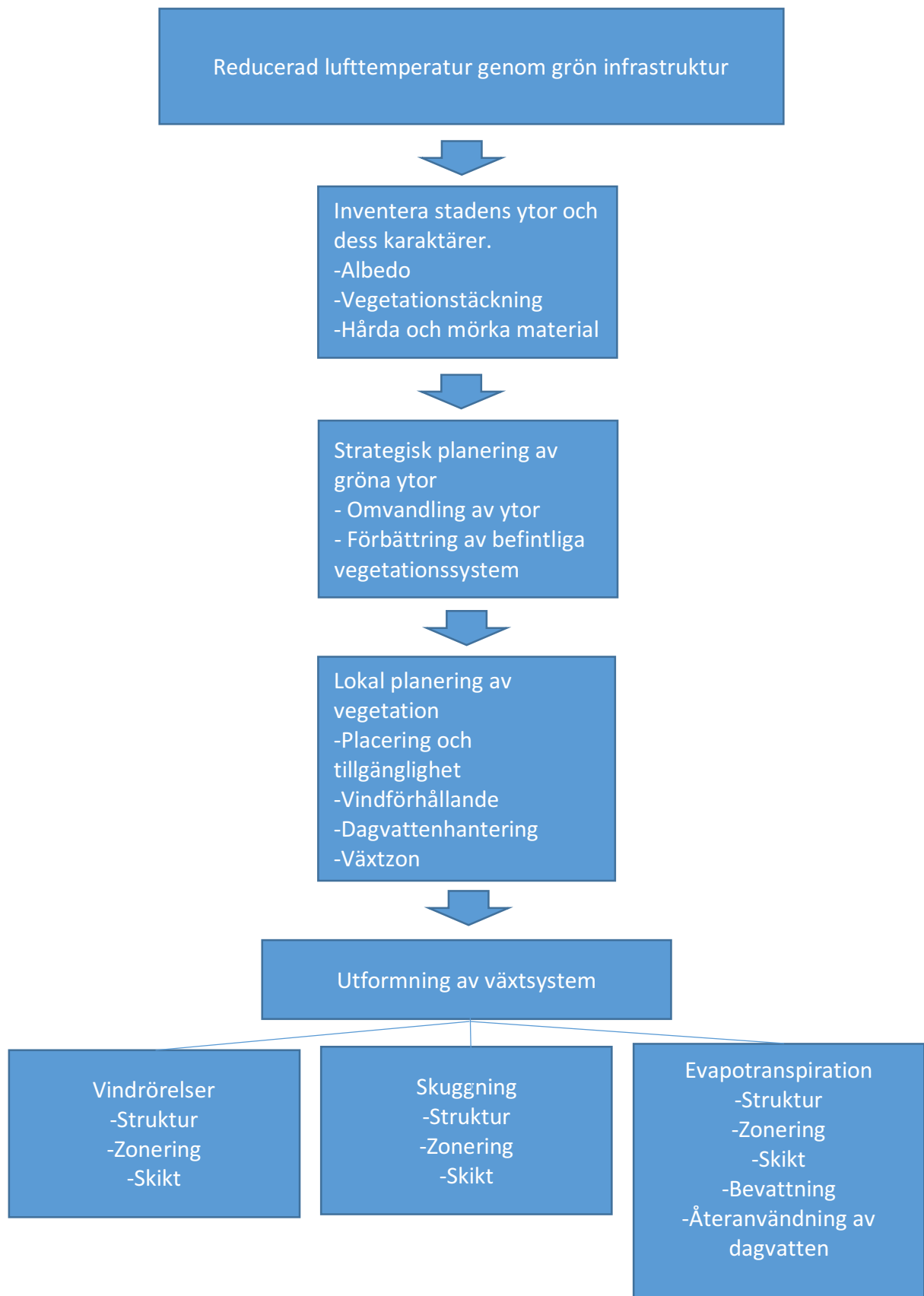
Grön infrastruktur i vår urbana miljö bidrar med sänkta temperaturer i sitt närområde. Faktorer som evapotranspiration, albedo, skugga och vindförhållanden hjälper till att mitigera effekterna av värmeöarna som påverkar temperaturen i urban miljö. Öppna grönytor har visat sig ge goda resultat för att minimera värmeö-effekten lokalt och i meso-skala. Vegetationen i de urbana grönområdena påverkas av ett flertal faktorer som nämnts i denna litteraturstudie. Öppna grönytor och dess påverkan på lufttemperaturen i meso-skala har visat sig vara beroende av storleken på dessa ytor. Både större och mindre grönområden har en inverkan på lufttemperaturen i omkringliggande områden.

Även om centrum i våra urbana städer är som mest utsatta för värmeö-effekten är det av stor betydelse att inse vikten av grön infrastruktur genom hela den urbana miljön. Gröna tak och vertikala grönsystem är två förhållandevis utrymmeseffektiva system som både bidrar till att reducera yt- och lufttemperaturer. Den totala värmereducerings-effekten av gröna tak och vertikala grönsystem är inte lika påtaglig som den värmereducering grönområden bidrar med. Däremot kompenserar gröna tak och vertikala grönsystem med att isolera byggnader, vilket på sikt leder till minskad energiförbrukning. Alla typer av gröna system bidrar till en ökad värmereducering och en minskad energiförbrukning i staden, därmed är det kanske en fråga om utrymme istället för total värmereducerande effekt som städer bör ta fasta på. Vi anser att alla utrymmen i staden bör tas tillvara och vara uppe för diskussion när det handlar om förgröning av en stad för att maximera effekterna av vegetati

7.2 Råd till kommuner och förvaltare

- Genom att inventera stadens ytor och dess karaktär, går det att dokumentera högprioriterade områden. Exempelvis när nya planteringar ska planeras in i staden är det viktigt att mörka ytor med lågt albedo, såsom husväggar eller markbeläggningar som är mycket varma prioriteras. På dessa ytor är införandet av skuggträd, vertikala grönsystem eller gröna tak att rekommendera.
- Strategisk planering vid införande av nya gröna system bör behandlas med förtur för att främja ekosystemtjänster, minska lufttemperaturen samt öka människans välmående. Genom att planera ett grönt system efter vindförhållanden, dagvattenhantering och växtzon ökar chansen för ett mer effektivt och hållbart system som i sin tur kan bidra till bättre förutsättningar i den urbana miljön.
- Strategisk placering av träd gör det möjligt att påverka skuggbildningen och vindförhållanden. Träd kan hjälpa till att modifiera vindförhållandena i staden och bidra med ökad luftcirkulation.
- Evapotranspiration sker i all vegetation så länge det finns vatten tillgängligt. Det är därmed väsentligt att få fram lösningar på hur vatten i staden kan tas tillvara på och ledas till vegetationen.
- Utformning av växtsystem. Att välja växter efter klimat, topografi, vindrörelser, skugga och tillgängligt vatten ökar chanserna för växterna att få en god etablering och en god livskvalité. Ökad evapotranspiration innebär god livskvalité vilket i sin tur bidrar till en ökad kylningseffekt och reducerade lufttemperaturer.

Figur 5. Illustration över hur strategiskt arbete för reducerade lufttemperaturer genom grön infrastruktur kan se ut.



8. Slutsats

Examensarbetets syfte är att undersöka vilka faktorer hos vegetationen som bidrar till en reduktion av temperaturen i den urbana miljön och hur olika system av grön infrastruktur påverkar temperaturen.

Detta genom att svara på följande frågeställningar:

- Vilka vegetativa faktorer bidrar till en sänkt temperatur i den urbana miljön?
- Hur påverkar olika typer av gröna system temperaturen i staden?

Resultatet i studien visar att faktorerna evapotranspiration, albedo, vindförhållanden och skugga påverkar hur vegetationen bidrar till en reduktion av den urbana temperaturen. Vegetationens kylande effekt är framförallt beroende av mängden tillgängligt vatten.

Gröna system är direkt beroende av vatten för att kunna bidra med temperaturreduktioner i den urbana miljön. Olika typer av grön infrastruktur bidrar till en temperaturreduktion inom den urbana miljön på olika sätt. Gröna tak har inte en lika stor direkt inverkan på omgivningstemperaturen som exempelvis träd, men bidrar däremot till att reducera den temperatur som ackumuleras på takytan. Det är viktigt att förstå hur olika typer av grön infrastruktur kan bidra till en värmereduktion för att på så sätt införa grön infrastruktur på bästa möjliga sätt på de ytor som finns i staden.

9. Källförteckning

Akbari, H., Davis, S., Dorsano, S., Huang, J & Winnett, S. (1992) Cooling our Communities. A Guidebook on Tree Planting and Light-Colored Surfacing. (Elektronisk) United States Environmental Protection Agency, Washington D.C. Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2018-04-15]

Akbari, H., Kurn, D., Bretz, S. & Hanford, J. (1997). Peak power and cooling energy savings of shade trees. (Elektronisk) Energy and Buildings, Vol. 25, ss.139-148. Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2018-04-15]

Akbari, H., Pomerantz, M. & Taha, H. (2001). Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. (Elektronisk) Solar Energy. Vol. 70, Issue 3, ss. 295-310. Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2018-04-15]

Boverket (2010). Mångfunktionella ytor: Klimatanpassning av befintlig bebyggd miljö i städer och tätorter genom grönstruktur. (Elektronisk) Tillgänglig: www.boverket.se [2018-04-18]

Nordiska ministerrådet (2018). Grön infrastruktur i urbana miljöer. (Elektronisk) Temanord 2018:518. Tillgänglig: www.norden.org [2018-04-25]

Coutts, A.M., Beringer, J., Jimi, S. & Tapper, N.J. (2015). The urban heat island in Melbourne: drivers, spatial and temporal variability, and the vital role of stormwater. (Elektronisk) Tillgänglig: https://www.researchgate.net/profile/Nigel_Tapper/publication/266267164_The_urban_heat_island_in_Melbourne_drivers_spatial_and_temporal_variability_and_the_vital_role_of_stormwater/links/5519d70e0cf26cbb81a2b36a/The-urban-heat-island-in-Melbourne-drivers-spatial-and-temporal-variability-and-the-vital-role-of-stormwater.pdf [2018-05-14]

Deak Sjöman, J. (2016). The Hidden Landscape: on fine-scale green structure and its role in regulating ecosystem services in the urban environment. (Elektronisk) Doctoral Thesis Swedish University of Agricultural Sciences Tillgänglig: <https://pub.epsilon.slu.se/13719/> [2018-03-27]

Dimoudi, A. & Nikolopoulou, M. (2003). Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. (Elektronisk) Energy and Buildings, Vol. 35, ss.69-76. Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2018-04-24]

Europeiska kommissionen (2013). Meddelande från kommissionen till europaparlamentet, rådet, europeiska ekonomiska och sociala kommittén samt regionkommittén: Grön infrastruktur (GI) - Att stärka Europas naturkapital. (Elektronisk) 52013DC0249. Tillgänglig: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:d41348f2-01d5-4abe-b817-4c73e6f1b2df.0018.03/DOC_1&format=PDF [2018-05-10]

Europeiska miljöbyrån (2015). Grön infrastruktur - bättre livsbetingelser genom naturbaserade lösningar. (Elektronisk) Tillgänglig: www.eea.europa.eu [2018-05-10]

Gunawardena, K.R, Wells, M.J. & Kershaw, T. (2017). Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. (Elektronisk) Science of Total Environment, Vol. 584-585, ss.1040-1055. Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2018-04-24]

Kurn, D.M., Bretz, S.E., Huang, B. & Akbari, H. (1994) The Potential for Reducing Urban Air Temperatures and Energy Consumption Through Vegetative Cooling. (Elektronisk) Lawrence Berkeley Laboratory, University of California, Energy & Environment Division. Tillgänglig: <https://escholarship.org/uc/item/8h39f3b5#main>

Mohajerani, A., Bakaric, J. & Jeffrey-Bailey, T. (2017). The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. (Elektronisk) Journal of Environmental Management, Vol. 197, ss. 522-538. Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2018-04-20]

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2013). Resiliens: Begreppets olika betydelser och användningsområden. (Elektronisk) Publikationsnummer MSB569-2013. Tillgänglig: www.msb.se. [2018-05-15]

Naturskyddsföreningen (2017) Faktablad: Albedo. (Elektronisk) Tillgänglig: www.naturskyddsföreningen.se [2018-04-20]

Naturvårdsverket (2017). Färdplan för ett resurseffektivt Europa. (Elektronisk) Tillgänglig: www.naturvardsverket.se [2018-03-30]

Naturvårdsverket (2018). Grön infrastruktur: Om grön infrastruktur och hur det ska genomföras med hjälp av regionala handlingsplaner. (Elektronisk) Tillgänglig: www.naturvardsverket.se/gron-infrastruktur [2018-03-30]

Naturvårdsverket (2015). Riktlinjer för regionala handlingsplaner för grön infrastruktur. (Elektronisk) Tillgänglig: www.naturvardsverket.se [2018-03-30]

Naturvårdsverket (2008). Vad händer med klimatet?: 10 frågor och svar om klimatförändringen. (Elektronisk) Tillgänglig: www.naturvardsverket.se [2018-03-30]

Norton, B., Bosomworth, K., Coutts, A., Williams, N., Livesly, S., Trundle, A., Harris, R. & McEvoy, D. (2013). Planning for a cooler future: Green infrastructure to reduce urban heat. (Elektronisk) Tillgänglig: <http://www.urbanaffairs.com.au/downloads/2014-2-12-3.pdf> [2018-03-26]

Norton, B., Coutts, A., Livesley, S., Harris, R., Hunter, A. & Williams, N. (2015). Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. (Elektronisk) Landscape and Urban Planning, Vol. 134, ss. 127-138. Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2018-03-26]

Oke, T.R. (1987) *Boundary Layer Climates*. Second edition. London: Routledge

Perini, K. & Magliocco, A. (2014). Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort. (Elektronisk) Urban Forestry & Urban Greening, Vol. 13, ss. 495-506. Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2018-04-18]

Qiu, G., Li, H., Zhang, Q., Chien, W., Liang, X. & Li, X. (2013). Effects of Evapotranspiration on Mitigation of Urban Temperature by Vegetation and Urban Agriculture. (Elektronisk) Journal of Intergrative Agriculture, Vol. 12, Issue 8, ss. 1307-1315. Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2018-03-26]

Rosa dos Santos, A., Santos de Oliveira, F., Gomes da Silva, A., Marinaldo Gleriani, J., Goncales, W., Lemos Moreira, G., Gimenes Silva, F., Figueira Branco, E.R., Melo Moura, M., Gomes da Silva, R., Silva Juvanhol, R., Barbosa de Souza, K., Alvares Soares Ribeiro, C.A., Tebaldi de Queiroz, V., Vidal Costa, A., Simoes Lorenzon, A., Fonseca Domingues, G., Marcatti, G.E., Lemos Martins de Castro, N., Tassinari Resende, R., Gonzales, D.E., Arthur de Almeida Telles, L., Ribeiro Teixeira, T., Dino Alves dos Santos, G.N.A. & Santos Mota, P.H. (2017). Spatial and temporal distribution of urban heat islands. (Elektronisk) Science of the Total Environment, Vol 605-606. ss. 946-956. Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2018-05-17]

Santamouris, M. (2006). *Environmental Design of Urban Buildings: An Integrated Approach*. London, Sterling, VA. Earthscan.

Shashua-Bar, L. & Hoffman, M. (2000). Vegetation as a climatic component in the design of an urban street An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. (Elektronisk) Energy and Buildings, Vol. 31, Issue 3, ss. 221-235. Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2018-04-18]

Shashua-Bar, L., Pearlmutter, D. & Erell, E. (2009). The influence of trees and grass on outdoor thermal comfort in a hot-arid environment. (Elektronisk) International Journal of Climatology, Vol. 31, ss. 1498-1506 (2011). Tillgänglig:

Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut [SMHI]. (2010). Klimatförändringarnas effekter på svenskt miljömålsarbete. (Elektronisk) Klimatologi Nr.2-2010. Tillgänglig: www.smhi.se

Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut [SMHI]. (2011). Värmeböljor i Sverige. (Elektronisk) Faktablad Nr. 49-2011. Tillgänglig: www.smhi.se

Upmanis, H., Eliasson, I., Lindqvist S. (1998). The Influence of Green Areas on Nocturnal Temperatures in a High Latitude City (Göteborg, Sweden). (Elektronisk) International Journal of Climatology, Vol.18, ss. 681-700. Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2018-03-28]

Vattenbyggnad för urbana miljöer (2013). (Elektronisk) Kurslitteratur utformning av vattenmiljöer, SLU-Alnarp. Tillgänglig: www.fronter.slu.se

Watkins, R., Palmer, J., & Kolokotroni, M. (2007). Increased Temperature and Intensification of the Urban Heat Island: Implications for Human Comfort and Urban Design. (Elektronisk) Built Environment (1978-), Vol. 33, ss. 85-96. Tillgänglig: www.jstor.org [2018-04-18]

Wong, E., Hogan, K., Rosenberg, J. & Denny, A. (2008). Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. (Elektronisk) U.S Environmental Protection Agency. Washington D.C. Tillgänglig: www.epa.gov

Zinzi, M & Agnoli, S. (2012). Cool and green roofs. An energy and comfort comparison between passive cooling and mitigation urban heat island techniques for residential buildings in the Mediterranean region. (Elektronisk) Energy and Buildings, Vol. 55, ss. 66-76. Tillgänglig: www.sciencedirect.com [2018-05-04]